

ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO MINERAL UTILIZADO NA RECUPERAÇÃO DE MOLIBDENITA DA SERRA DE CARNAÍBA, BA.

P.F.A. Braga¹, A.P. Chaves², A.B. Luz¹

¹CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Av. Pedro Calmon, 900, Cid. Universitária, CEP 21941-908, Rio de Janeiro – RJ. e-mail: pbraga@cetem.gov.br

²Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Mello Moraes, 2.373, Cid. Universitária, CEP 05508-900, São Paulo, SP

RESUMO

No Brasil não existem reservas oficiais de minérios de molibdênio e as reservas não oficiais são modestas e, nesse contexto, surge como uma opção de aproveitamento econômico o minério de molibdênio (molibdenita) gerado como co-produto ou subproduto da garimpagem da esmeralda/berilo verde, na Serra de Carnaíba, em Pindobaçu, BA.

No Garimpo da Serra de Carnaíba, mais de 20.000 pessoas dependem economicamente da garimpagem de esmeraldas e da flotação da molibdenita contida no rejeito da exploração mineral. É notória a ausência de informações sobre o beneficiamento desse mineral, disposição dos rejeitos, agregação de valor aos bens minerais produzidos e sobre os aspectos legais e ambientais.

Oficialmente, não há dados registrados sobre a produção de molibdenita na região de Carnaíba, porém, estima-se que esta produção garimpeira é de cerca de 5 t/ano de concentrado de molibdenita.

O atual preço do molibdênio no mercado internacional (US\$ 37,15/kg MoO₃) incentiva a busca por essa commodity. Na região de Pindobaçu o concentrado de molibdenita com 40% de Mo é comercializado por R\$ 30/kg (~18 US\$/kg).

O processo de beneficiamento atualmente utilizado na Serra de Carnaíba propicia concentrados de molibdenita com baixo teor, inferindo em um produto de baixo valor.

O objetivo do presente estudo foi caracterizar a molibdenita e os produtos derivados (concentrado e rejeito) disponíveis e comercializados na reserva garimpeira de Carnaíba e avaliar a prática do beneficiamento mineral utilizado pela pequena mineração artesanal.

PALAVRAS-CHAVE: molibdênio; flotação; molibdenita; caracterização

1. INTRODUÇÃO

O molibdênio não é encontrado livre na natureza e sua principal fonte é a molibdenita, que é um mineral acessório em certos granitos, pegmatitos e aplitos. Comumente a molibdenita ocorre em depósitos de filões, associada com a cassiterita, scheelita, wolframita e fluorita. Também podem ser encontrada em depósitos metamórficos de contato, com silicatos de cálcio, scheelita e calcopirita. O molibdênio é explotado comercialmente como um sulfeto metálico (molibdenita) em grandes depósitos de molibdênio pórfiro com baixo teor (produção primária) e como um sulfeto metálico associado a depósitos de cobre pórfiro (produção secundária).

O molibdênio é um elemento metálico refratário, usado principalmente como um agente em ligas em aço, ferro fundido e superligas para reforçar a têmpera, força, dureza e resistência ao desgaste e a corrosão. Para obter as propriedades metalúrgicas desejadas, o molibdênio, sob a forma de trióxido de molibdênio (MoO_3) ou ferromolibdênio (FeMo), é frequentemente usado em combinação com o cromo, nióbio, manganês, níquel, vanádio e tungstênio, que são metais formadores de ligas. O molibdênio também tem um uso importante na indústria química, incluindo a fabricação de catalisadores, pigmentos e lubrificantes e na agricultura como micronutriente (MERCHANT, 2011).

No ano de 2010, a balança comercial brasileira para a cadeia do molibdênio (bens primários, semimanufaturados e manufaturados e compostos químicos) foi caracterizado por um déficit de aproximadamente US\$ 150 milhões, sendo quase 50% com origem nas importações de minérios e concentrados (MDIC, Sistema Alice, 2011).

No Brasil não existem reservas oficiais de minérios de molibdênio e as reservas não oficiais são modestas e, nesse contexto, surge como uma opção de aproveitamento econômico o minério de molibdênio (molibdenita) gerado como co-produto ou subproduto da garimpagem da esmeralda/berilo verde, na Serra de Carnaíba, em Pindobaçu, BA. No Garimpo da Serra de Carnaíba, mais de 20.000 pessoas dependem economicamente da garimpagem de esmeraldas e da flotação da molibdenita contida no rejeito da exploração mineral. É notória a ausência de informações sobre o beneficiamento desse mineral, disposição dos rejeitos, agregação de valor aos bens minerais produzidos e sobre os aspectos legais e ambientais.

Os objetivos do presente estudo são: traçar um panorama nacional para o molibdênio, metal de grande importância para o setor metalúrgico e não aproveitado no Brasil; caracterizar a molibdenita e os produtos derivados (concentrado e rejeito) disponíveis e comercializados na reserva garimpeira de Carnaíba e avaliar a prática do beneficiamento mineral utilizado pela pequena mineração artesanal.

2. RESERVAS E PRODUÇÃO NACIONAL DE MOLIBDÊNIO

Dentro do contexto internacional, o Brasil não apresenta reservas econômicas de molibdênio, sendo caracterizado como um país importador de concentrados e produtos de molibdênio.

Historicamente, o Distrito Scheelitífero da Borborema Seridó, nos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, é citado como a maior fonte potencial de molibdênio devido à ocorrência de molibdenita associada à scheelita (ABREU, 1973). O Projeto Tungstênio/Molibdênio do DNPM, em 1969, indicou que a reserva de molibdênio associado ao tungstênio era da ordem de 1.190 t (GUSMÃO, 1981). Um balanço minero-metalúrgico da Mina Brejuí, RN, realizado por ocasião do projeto, mostrou um teor de 0,2% Mo no minério e de 0,17% Mo no rejeito do beneficiamento da scheelita (BARBOSA et al, 1969).

Atualmente, no Brasil, as reservas não oficiais são modestas. No depósito de cobre do Salobo, na Serra dos Carajás, em Marabá, PA, a molibdenita associada ao minério de cobre está na ordem de 110.000 t de

molibdênio contido, cujos teores variam de 50 a 250 ppm de Mo no minério. Outro depósito é o sítio Cruxatu, em Barra de Santana, no município de Jucurutu, RN (NESI, 2007).

Outro depósito que vem sendo explotado artesanalmente, desde a década de 70, está localizado na Serra de Carnaíba em Pindobaçu, BA. Esta produção artesanal de molibdenita é realizada como um co-produto ou subproduto da garimpagem de esmeralda. Não existem dados oficiais sobre este depósito (FONTELES, 2009).

Em junho de 2008, a Carnavale Resources da Austrália encerrou a primeira fase de pesquisa do projeto de molibdênio em Frei Martinho, PB, na região do Seridó. A Fase I do programa de perfuração com 2.046 m perfurados em 18 furos indica um teor médio de 0,20-0,40% de Mo. O conhecimento geológico adquirido durante a Fase I, em conjunto com os trabalhos de campo, levaram a empresa a requerer novas áreas para pesquisa (CARNAVALE RESOURCES, 2007).

Oficialmente, não há produção de molibdênio em minas no Brasil. Há registros de uma produção informal de concentrado de molibdenita proveniente da atividade garimpeira, que é recuperada artesanalmente como subproduto da exploração de esmeralda/berilo verde, da região de Carnaíba, em Pindobaçu, BA. Esta produção garimpeira é estimada em torno de 5 t/ano de concentrado.

No segmento metalúrgico, durante a década de 80 o Brasil produzia ferromolibdênio a partir de concentrado importado. Esta produção foi interrompida no início dos anos 90, após a redução das alíquotas de importação determinadas pelo novo governo (GUSMÃO, 1990 e COSTA, 2000). Atualmente existe uma pequena produção de ferromolibdênio, destinada principalmente a exportação e que oscila em função das variações do mercado internacional.

3. BALANÇA COMERCIAL DO MOLIBDÊNIO NO BRASIL

Atualmente, a balança comercial do molibdênio no ano de 2010 apresenta um déficit de US\$ 150 milhões, sendo o Brasil caracterizado como grande importador de bens primários (49%), de produtos semimanufaturados (38%), de produtos manufaturados (7%) e de compostos químicos (6%). Os bens primários são representados pelo concentrado de molibdenita ustulada, concentrados minerais não ustulados e outros minerais; os semimanufaturados são formados principalmente pelo ferromolibdênio; os manufaturados são os fios e pós de molibdênio, o molibdênio em forma bruta, em barras, perfis, chapas e folhas; e os compostos químicos são o tri-óxido de molibdênio (grau químico), o sulfeto de molibdênio IV (bissulfeto) e outros óxidos, os hidróxidos e molibdatos. A Tabela 1 mostra os principais produtos de molibdênio importados pelo Brasil e seu valor nos últimos quatro anos. Verifica-se que antes da crise mundial de 2008, o Brasil importava cerca de US\$ 330 milhões em produtos e derivados de molibdênio (MDIC/Sistema Alice, 2011).

Tabela 1 – Importação brasileira de produtos de molibdênio

Produtos	1.000 US\$ FOB			
	2007	2008	2009	2010
Compostos químicos	18.791	15.125	7.545	9.197
Bens primários	200.825	235.632	41.575	72.414
Manufaturados	21.286	32.212	6.652	9.994
Semimanufaturados	60.609	44.604	22.478	55.938
Total	301.511	327.573	78.250	147.540

Fonte: MDIC/Sistema Alice

4. GEOLOGIA DA SERRA DA CARNAÍBA

Em Carnaíba e Socotó, a mineralização de molibdenita ocorre com a esmeralda e às vezes com minerais de scheelita. A mineralização da molibdenita, subproduto da extração de esmeralda, ocorre em veios e vênulos maciços e nos veios pegmatíticos. As gemas estão localizadas em zonas pegmatíticas, intrusivas nos mica-xistos, próximas aos corpos plutônicos de composição granítica. As ações metassomáticas de veios e vênulos pegmatíticos, nas ultrabásicas adjacentes, propiciaram a formação da esmeralda. Os filões, contendo esmeralda, apresentam núcleos de quartzo, em geral budinados, resultado da atuação das forças tensionais, envolvidas por flogopita-biotita-xistos, que passam lateralmente para serpentinitos mais conservados (SANTANA, MOREIRA e COUTO, 1995).

A presença de molibdenita e scheelita com o berilo (esmeralda) indicam uma importante ação pneumatolítica, pois o molibdênio e o tungstênio são elementos essenciais de pegmatitos.

5. LAVRA E BENEFICIAMENTO DE MOLIBDENITA NA SERRA DE CARNAÍBA, BA

Os depósitos de molibdenita da região da serra de Jacobina distribuem-se em duas áreas: a do garimpo da Carnaíba (município de Pindobaçu), na parte média da região serrana, e a do garimpo de Socotó (Município de Campo Formoso), mais a norte, ambas do lado oeste da serra. O acesso a Carnaíba e a Socotó é feito por Campo Formoso (400 km de Salvador), mas também pode ser realizada por Pindobaçu (Figura 1).

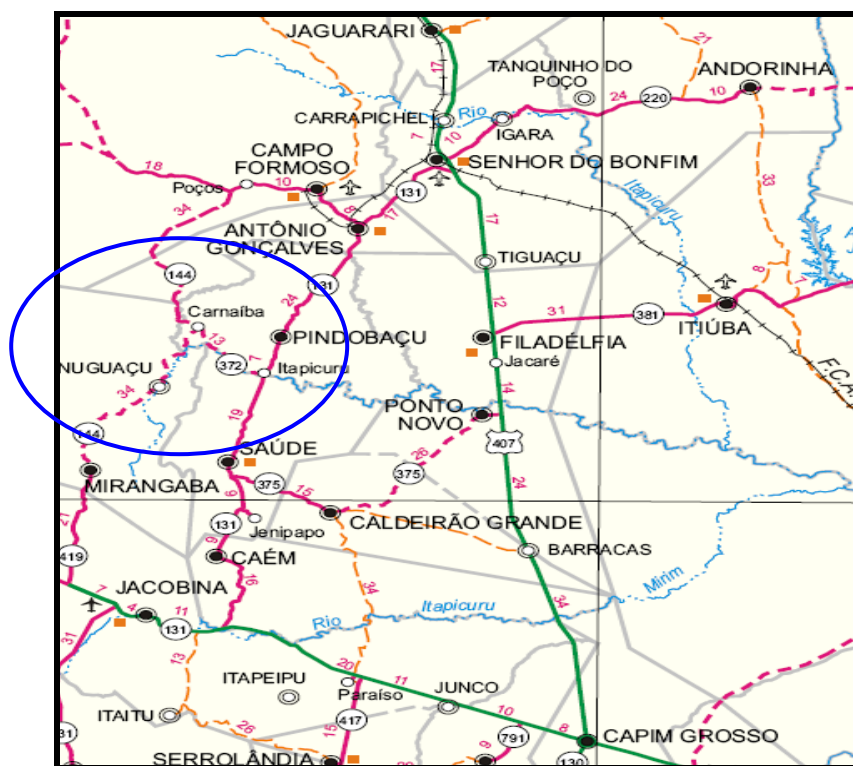


Figura 1 – Mapa de localização dos Garimpos na Serra de Carnaíba, BA.

A molibdenita, na Serra de Carnaíba, vem sendo obtida como um subproduto da garimpagem de esmeralda, por meio de escavações subterrâneas, onde os veios mineralizados são seguidos através de galerias (grunas). Para realizar o acesso às galerias, são utilizados poços verticais e galerias horizontais, caso a topografia possibilite. O desmonte das rochas encaixantes e do minério é realizado manualmente ou com auxílio de explosivos (SILVA e MOREIRA, 2006).

Após a lavra do minério de molibdenita, o mesmo é submetido a uma pré-concentração por catação manual, realizada pelos garimpeiros, que vendem (ou partilham) este pré-concentrado de molibdenita para outros garimpos que fazem o seu beneficiamento, recebendo ao final do processo e após apuração da produção do concentrado de molibdenita, o preço combinado.

A primeira etapa do beneficiamento mineral realizado pelos garimpeiros é a etapa de cominuição (britagem em britadores de mandíbulas e moagem em moinho de martelos). Após a redução de tamanho, o minério de molibdenita é flotado em células de flotação rudimentares, utilizando-se óleo de pinho como coletor e/ou espumante. O concentrado de molibdenita produzido nos garimpos da Serra de Carnaíba contém entre 30 a 45% de Mo. O processo de beneficiamento utilizado pelos garimpeiros para a recuperação de molibdênio na Serra de Carnaíba está apresentado no fluxograma da Figura 2.

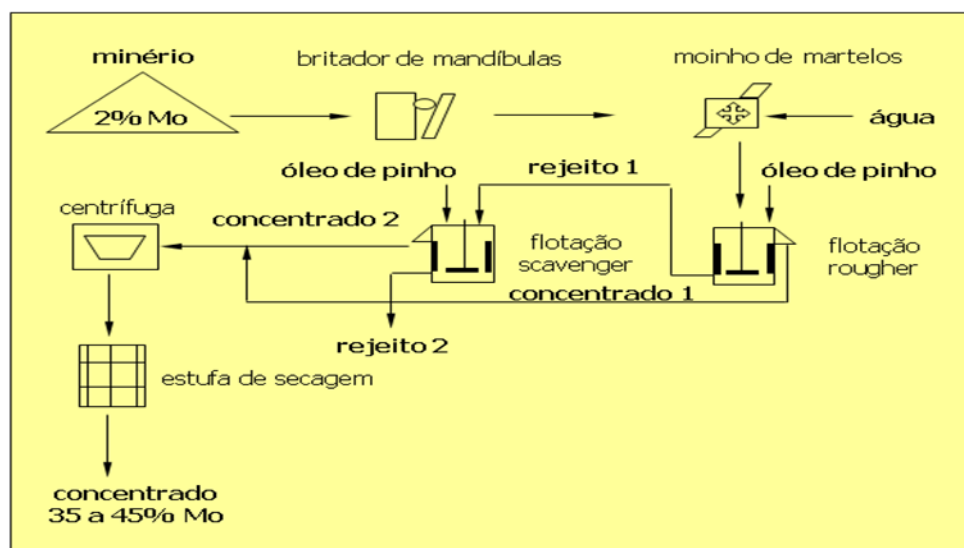


Figura 2 – Fluxograma de beneficiamento utilizado na Serra de Carnaíba.

Na região da Serra de Carnaíba são comercializados e processados dois tipos de minério de molibdenita (localmente chamada de estanho). A primeira é considerada leve, quando a molibdenita encontra-se laminada na rocha micaxisto, entre as placas de muscovita. A segunda é considerada pesada, quando a molibdenita está associada de forma maciça nos filões de quartzo contido nas rochas encaixantes de micaxisto.

A comercialização dos pré-concentrados de molibdenita que alimentam as unidades de beneficiamento (flotações) é feita por meio da compra no mercado “spot” local e de acordo com o teor de molibdenita observado na rocha ou segundo parcerias (consignação), em função da quantidade de concentrado obtido após a flotação.

Segundo informações locais, o teor de molibdênio no minério pré-concentrado é de 2%. O beneficiamento por flotação proporciona concentrados com 40% de molibdênio. O preço do concentrado com 40% de molibdênio estava sendo negociado a R\$ 30,00/kg.

6. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

6.1 Obtenção e Preparação das Amostras de Molibdenita

Para a realização deste estudo foram coletadas amostras de minérios, rejeitos e concentrados produzidos na região garimpeira da Serra de Carnaíba, BA. Foram coletadas três amostras de minério, duas amostras de rejeito de flotação e uma amostra de concentrado de molibdenita em diversos garimpos ou “flotadores” da Serra de Carnaíba.

As amostras de minérios coletadas foram cominuídas em britador de mandíbulas e, em seguida, no moinho de martelos com abertura de 2 mm, operando em circuito fechado com uma peneira de 1,651 mm. No estágio seguinte, realizou-se a homogeneização do material em pilha prismática e desta foram retiradas alíquotas de 1 kg para os estudos de caracterização química e mineralógica e estudos de beneficiamento. O tipo de amostra e o local onde foram coletadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tipo de amostra e local de coleta.

Amostra	Garimpo	Localização
minério	Garimpo do Paulo	Carnaíba de Cima
minério	Garimpo do Marota	Carnaíba de Baixo
minério	Garimpo do Fernando	Carnaíba de Cima
rejeito	All Minérios	Carnaíba de Baixo
rejeito	Garimpo do Sérgio	Carnaíba de Baixo
rejeito	Garimpo do Tio Zé	Carnaíba de Cima
concentrado	Garimpo do Paulo	Carnaíba de Cima

6.2 Caracterização Mineralógica e Química

A caracterização química e mineralógica foi realizada nos laboratórios do CETEM, por meio de análise de fluorescência de raios-X, análise química e com auxílio de lupa binocular, difração de raios-X e análise de imagem em microscópio eletrônico de varredura-MEV (NEUMANN, R., FERNANDES, T. L. A. P., SILVA, E. E., 2007).

Na Tabela 3 pode ser observado os resultados da análise química do minério “ROM” coletado durante a visita a Pindobaçu. Verifica-se que os minérios apresentam teores diferenciados de molibdênio (0,21%, 0,50%, e 1,73% MoO₃). Também contém teores elevados de MgO e de Al₂O₃ caracterizado pela presença de clorita/clinoclóro e talco que é um silicato de magnésio e/ou alumínio hidratado.

Tabela 3 - Análise química de minérios (ROM) de garimpos de Carnaíba.

Componentes (%)	Paulo	Marota	Fernando
SiO ₂	50,52	43,59	45,83
TiO ₂	0,00	0,13	0,28
Al ₂ O ₃	22,88	12,19	17,83
MgO	4,86	17,27	5,8
MnO	0,04	0,16	0,11
Fe ₂ O ₃	3,06	7,71	6,08
CaO	1,36	2,82	1,49
Na ₂ O	4,3	1,41	3,67
K ₂ O	3,02	5,82	5,6
F	0,00	2,06	0,00
P ₂ O ₅	0,09	1,25	0,23
MoO ₃	0,21	0,57	1,73
P. fogo	9,32	3,77	9,41

Na Tabela 4 encontra-se resumido a mineralogia das amostras coletadas nos Garimpos da Serra de Carnaíba. Verifica-se a presença de dois tipos de minérios distintos, o primeiro (Garimpos do Paulo e Marota) apresenta talco em sua composição e o segundo (Garimpo do Fernando) sem a presença do talco. A presença do talco interferirá na flotação da molibdenita (talco e molibdenita são hidrofóbicos).

Tabela 4 - Mineralogia das amostras (ROM) dos Garimpos de Carnaíba.

Composição mineralógica (ROM) de Garimpos		
Paulo	Marota	Fernando
biotita	biotita	biotita
talco	talco	
albita	albita	albita
molibdenita	molibdenita	molibdenita
clinocloro		clinocloro

Os teores de molibdênio nos rejeitos coletados foram significativamente baixos: 211 ppm no Garimpo do Sérgio; 162 ppm na All Minérios e 116 ppm no Garimpo do Tio Zé.

A análise química do concentrado de molibdenita coletado no Garimpo do Paulo apresentou um teor de 50% de Mo (equivalente a 85% MoS₂), abaixo do teor comercializado internacionalmente que é 90% de MoS₂, para os concentrados de molibdenita.

6.3 Beneficiamento de Minérios de Molibdenita

Os minérios dos Garimpos do Paulo e da Marota são constituídos, em sua grande maioria, pelos minerais biotita e talco. O talco é um mineral naturalmente hidrofóbico (não possui afinidade por água) como a molibdenita, desta forma, no beneficiamento por flotação, o talco é flotado com a molibdenita, resultando numa diminuição do teor de MoS₂ (molibdenita) no concentrado.

Inicialmente o minério ROM, menor que 2 mm, foi cominuído durante 13 minutos em moinho de barras para atingir um produto compatível com seu grau de liberação (90% passante em 295 µm).

A seguir o produto cominuído foi concentrado por flotação. Os estudos preliminares de flotação foram realizados em uma célula DENVER Mod D12 de laboratório, com uma cuba de 3 L e amostras de 1 kg. Não foi utilizado nenhum coletor específico para sulfetos, foi utilizado apenas o óleo de pinho como espumante e agente formador da fase hidrofóbica.

A flotação da molibdenita foi realizada em duas etapas (*rougher* e *cleaner*). A etapa *rougher* é o estágio inicial e tem a função de promover a primeira separação entre a molibdenita e os minerais contaminantes, a etapa *cleaner* é o estágio de limpeza do concentrado da flotação e teve por objetivo aumentar o teor de molibdenita no concentrado final.

Os ensaios de flotação realizados com o minério do Garimpo do Fernando propiciaram concentrados com 25% de Mo na etapa *rougher* e 45% de Mo na etapa *cleaner*. A recuperação global do processo foi de 85%. Os ensaios de flotação realizados com o minério dos Garimpos do Paulo e da Marota propiciaram concentrados com baixo teor de molibdênio (~20% Mo), provavelmente devido à flotação conjunta do talco presente nesse minério. Na Tabela 6 podem ser observadas as condições operacionais dos ensaios de flotação (etapas *rougher* e *cleaner*).

Tabela 6 – Condições dos ensaios de flotação.

	Etapa <i>rougher</i>	Etapa <i>cleaner</i>
pH	7 - 8,5	7 - 8,5
Tempo de condicionamento com óleo de pinho	2 min	2 min
Concentração do óleo de pinho	150 g/t	-
% de sólidos no condicionamento	37	
% de sólidos na flotação	30-15	
Tempo de flotação	2 min	1 min

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, a Serra de Carnaíba, é a única produtora de concentrado de molibdênio (molibdenita) do país com uma produção artesanal (garimpagem) estimada em 5 t/ano de molibdenita.

O atual preço do molibdênio no mercado internacional (US\$ 35/kg MoO₃) incentiva a busca por essa *commoditie*. Em Carnaíba o concentrado de molibdenita com 40% de Mo é comercializado por R\$ 30/kg (~18 US\$/kg). O processo de flotação atualmente utilizado na Serra de Carnaíba propicia concentrados de molibdenita com baixo teor, inferindo em um produto de baixo valor.

A caracterização mineralógica dos diversos minérios coletados em Carnaíba mostrou que os principais minerais de ganga são: biotita, talco, clinocloro e albita. No minério do Garimpo do Fernando não foi detectada a presença de talco.

Os ensaios de flotação realizados com o minério do Garimpo do Fernando propiciaram concentrados com 25% de Mo na etapa *rougher* e 45% de Mo na etapa *cleaner*, o que pode ser otimizado com a introdução de mais etapas de limpeza.

Para recuperação da molibdenita associada ao talco, o processo gravítico em concentradores centrífugos conjugado com a concentração por flotação, pode ser uma opção tecnológica.

Da mesma forma, a realização de um estudo sobre reagentes depressores para o talco (principal contaminante da molibdenita) no processo de flotação, propiciaria o aproveitamento de outros depósitos minerais na Serra de Carnaíba, onde o talco é o principal contaminante.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MDIC – Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Disponível/ SECEX/ Sistema Alice Disponível em <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/> acesso em abr 2011.
- ABREU, S F. Recursos Minerais do Brasil, V II, pg 568-569, São Paulo, 1973.
- BARBOSA et al. “Projeto tungstênio-molibdênio no Rio Grande do Norte e Paraíba”. *Mineração Metalurgia*, nº 293, pg 201-202, 1969.
- CARNAVALE RESOURCES, Carnavale successfully completes initial exploration program at Frei Martinho Molybdenum Project in Brazil – drilling to start shortly. News Releases, 13/11/2007. Disponível em <http://www.carnavaleresources.de/public/> acesso em 08 abr 2011.
- COSTA, J. L. “Molibdênio”, in: *Sumário Mineral, DNPM, Brasília*, v. 20, 2000

- FONTELES, H. R. N., “Molibdênio”, in: Sumário Mineral, DNPM, Brasília, v. 29, 2009.
- GUSMÃO, A. M., “Molibdênio”, in: Sumário Mineral, DNPM, Brasília, v. 1, 1981.
- GUSMÃO, A. M., “Molibdênio”, in: Sumário Mineral, DNPM, Brasília, v. 10, 1990.
- MERCHANT, Molybdenum Market Review, Merchant Research & Consulting Ltd. United Kingdom, jan 2011.
- NESI, J.R., “Molibdênio”, in: Sumário Mineral, DNPM, Brasília, v. 27, 2007.
- NEUMANN, R., FERNANDES, T. L .A. P., SILVA, E. E. “Caracterização de Molibdenita contida em Rejeitos de Garimpo da serra de Carnaíba, BA”, *Relatório Interno de Projeto*, Rio de Janeiro, Brasil, Cetem, 2007.
- SANTANA, A.J., MO REIRA, M. D., COUTO, P. A. A. Esmeralda de Carnaíba e Socotó, Bahia: geología e potencialidade. CBPM, Série arquivos abertos, nº 9, Salvador, 1995.
- SILVA, R. W. S., MOREIRA, M. D. Esmeralda de Carnaíba, Bahia: geologia e desenvolvimento do garimpo. CBPM, Série arquivos abertos, nº 25, Salvador, 2006.